

**VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Vestavěný řídicí systém na bázi mikrokontroléru a FPGA  
pro velkoplošný LED displej s digitální PWM**

**Microprocessor and FPGA based embedded system for large  
screen LED display with digital PWM**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Michal Petřek**

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2601T004 Měřicí a řídicí technika

Téma:

Vestavěný řídicí systém na bázi mikrokontroléru a FPGA  
pro velkoplošný LED displej s digitální PWM  
Microprocessor and FPGA based Embedded System for Large Screen  
LED Display with Digital PWM

Zásady pro vypracování:

1. Analýza současného stavu řešení řízení velkoplošných LED displejů.
2. Návrh koncepce řízení autonomního LED displeje.
3. Realizace HW řídicí části LED displeje.
4. Realizace SW řídicí části LED displeje.
5. Testování vyvinuté řídicí jednotky v reálném prostředí.
6. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] VAN SICKLE, Ted. *Programming microcontrollers in C*. 2nd ed. Eagle Rock, Calif.: LLH Technology Pub., c2001, 454 s. ISBN 1878707574.
- [2] ŽALUD, Václav. *Moderní radioelektronika*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2000, 653 s. ISBN 80-86056-47-3.
- [3] *Microchip technology Inc.* [online]. 2014 [cit. 2014-11-26]. Dostupné z: <http://www.microchip.com/>.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jaromír Konečný, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 23.2.2015



.....  
podpis studenta

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Jaromíru Konečnému, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce. Také bych velmi rád poděkoval mé rodině, která mi byla při studiu a zpracování diplomové práce velkou morální oporou, poskytovala mi zázemí a podmínky k dokončení mého studia.

## **Abstrakt**

V diplomové práci je realizován návrh vestavěného řídicího systému na bázi mikrokontroléru a FPGA pro řízení velkoplošného LED displeje s digitální PWM. Pro řízení velkoplošného LED displeje byl vybrán 32 bitový mikrokontrolér PIC32 s integrovaným řadičem pro ethernet, paralelním portem, rozhraním pro SD kartu a I<sup>2</sup>C komunikační sběrnici. Zobrazovaná data jsou mikrokontrolérem čtena z SD karty, zpracována a následně odesílána prostřednictvím PMP k dalšímu zpracování v FPGA poli. Signál pro řízení LED driverů je generován digitálním systémem implementovaným na FPGA Xilinx-Spartan. Na displejové desce má každá LED svůj zdroj konstantního proudu, který je řízen PWM, na základě signálu z FPGA. Napájení řídicí karty je zajištěno ze zdroje stejnosměrného napětí 5 V standardně užívaného ve velkoplošných LED displejích. Uživatelské rozhraní je realizováno prostřednictvím vestavěného WEB serveru přímo na řídicí kartě, přičemž konektivita do sítě je realizována ethernet rozhraním 10/100Mbps.

## **Klíčová slova**

LED displej, Vestavěný systém, Mikrokontrolér, FPGA, PWM, SD karta

## **Abstract**

In the thesis is implemented design embedded system based on microcontroller and FPGA for the control of outdoor LED display with digital PWM. For the management of large-scale LED display was selected 32-bit PIC32 microcontroller with integrated driver for ethernet, parallel-master-port interface for SD card and I<sup>2</sup>C communication bus. The displayed data are read from SD card, processed and then sent through the PMP for processing in the FPGA. Signal to control LED drivers is generated by a digital system implemented on Xilinx FPGA-Spartan. On the display board, each LED has its own constant current source which is controlled by PWM based on a signal from the FPGA. Power of card is provided by the DC 5 V standard used in large-size LED displays. The user interface is implemented via the built-in WEB server directly on the control card. For connectivity to network is implemented ethernet 10/100 Mbps.

## **Key words**

LED display, Embedded system, Microcontroller, FPGA, PWM, SD card

## Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
f	Hz	Kmitočet
I	A	Elektrický proud
U	V	Elektrické napětí
R	$\Omega$	Elektrický odpor

## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Anglický význam	Český význam
ASIC	Application Specific Integrated Circuit	Jednoúčelový integ. obvod
B	Blue	Modrá
BUS	BUS	Sběrnice
CIE	International Commission on Illumination	Mezinárodní výbor pro barvy
COM	Communication port	Komunikační port
DPS	Printed circuit board	Deska plošných spojů
ESD	Electrostatic discharge	Elektrostatický výboj
Ethernet	Ethernet network BUS	Ethernet síťová sběrnice
FPGA	Field programmable gate array	Programovatelné hradlové pole
G	Green	Zelená
HW	Hardware	Elektronické obvody
I <sup>2</sup> C	I <sup>2</sup> C BUS	I <sup>2</sup> C sběrnice
ISE	Integrated Software Environment	Integrované vývojové prostředí
JTAG	Joint Test Action Group – standard	Standard pro komunikaci
LDO	Low Dropout regulator	Lineární regulátor
MCU	Microcontroller	Mikrokontrolér
ME	Mechanic engineering	Mechanický návrh
PMP	Parallel master port	Paralelní port

PON	Power on	Zapnutí napájení
Pull up	Resistor for define logic level	Rezistor pro definici log. 1
PWM	Pulse width modulation	Pulsně šířková modulace
R	Red	Červená
RAM	Read/Write memory	Paměť čtení/zápis
RX	Receive/Receiver	Přijímat/Přijímač
SD	Secure Digital card	SD karta
SW	Software	Programové vybavení
TX	Transmit/Transmitter	Vysílat/Vysílač
VHDL	VHSIC Hardware Description Language	Jazyk pro popis hardware
Y	Yellow	Žlutá



# Obsah

1	Úvod.....	1
2	Analýza současného stavu řešení řízení velkoplošných maticových LED displejů .....	2
	2.1 Základní členění velkoplošných maticových LED displejů .....	2
	2.2 Základní struktura HW a SW LED displejů .....	3
	2.2.1 Dostupné moduly LED displejů na trhu .....	4
	2.2.2 Dostupné HW pro řízení LED displejů na trhu .....	4
	2.2.3 Dostupný SW pro řízení LED displejů na trhu .....	6
3	Návrh koncepce řízení autonomního LED displeje .....	8
4	Realizace HW řídicí části LED displeje .....	9
5	Realizace SW řídicí karty LED displeje .....	10
6	Testování vyvinuté řídicí jednotky v reálném prostředí .....	11
7	Zhodnocení dosažených výsledků.....	12
	Použitá literatura.....	XIII
	Seznam příloh.....	XIV

---

# 1 Úvod

Problematika sdělování obrazových informací na veřejných místech je stará jako lidstvo samo. Ve všech dobách i kulturách existovaly důvody pro předávání informace pro větší skupiny lidí. V posledních 100 letech byla velmi hojně využívána technologie velkoplošného tisku v mnoha různých podobách. Dnes je velkoplošné sdělování obrazové informace využíváno především v oblasti mediální komunikace komerčních společností, politiky, zábavy či sportu. Fenoménem posledních několika let ve venkovní velkoplošné reklamě se staly LED obrazovky.

Ve srovnání s tištěnou reklamou přináší velkoplošná LED obrazovka mnoho dalších přidaných hodnot. LED obrazovka je přímo zdrojem světla, tedy kombinací jednotlivých bodů obrazů, čímž je výraznější a viditelnější i za zhoršených světelných podmínek, popřípadě ve večerních i nočních hodinách. Další přidanou hodnotou se jeví přenos dynamicky se měnícího obrazu, či zobrazování videa.

Takovéto velké velkoplošné obrazovky zpravidla potřebují pro své řízení speciální řídicí karty a především řídicí PC. Při velké LED obrazovce je cena řídicího PC akceptovatelná vzhledem k ceně obrazovky, ale při potřebě řízení menší LED obrazovky může cena PC tvořit vyšší náklad, než samotný LED displej. Z toho důvodu vznikl požadavek na vytvoření autonomně pracující řídicí karty pro venkovní LED obrazovky s ohledem na cenu, spolehlivost a funkčnost celého zařízení. U zařízení tohoto typu se dále předpokládá bezproblémový nepřetržitý provoz, schopnost uchovávat zobrazovaná data a v neposlední řadě možnost komunikace se zařízením prostřednictvím lokální sítě, či internetu.

Tato diplomová práce si klade za cíl navrhnout vestavěné zařízení pro řízení velkoplošného maticového autonomního LED displeje včetně návrhu koncepce, HW i SW. Neméně důležitou součástí této diplomové práce je taktéž závěrečné testování vyvinuté řídicí karty.

Diplomová práce je členěna tímto způsobem. Kapitola 2 se zabývá analýzou současného stavu řešení řízení velkoplošných maticových LED displejů, kapitola 3 se zaměřuje na návrh koncepce řízení autonomního LED displeje. V kapitole 4 je rozebrána problematika realizace HW řídicí karty a kapitola 5 pojednává o realizaci SW řídicí karty. Kapitola 6 se zaměřuje na testování vyvinuté řídicí jednotky v reálném prostředí. Na závěr následuje zhodnocení dosažených výsledků v kapitole 7.

## 2 Analýza současného stavu řešení řízení velkoplošných maticových LED displejů

Jako každého typu technického zařízení existuje několik skupin užití a principů návrhu, tak ani venkovní LED obrazovky nejsou výjimkou.

### 2.1 Základní členění velkoplošných maticových LED displejů

Velkoplošné maticové LED displeje můžeme rozdělit do skupin podle mnoha kritérií:

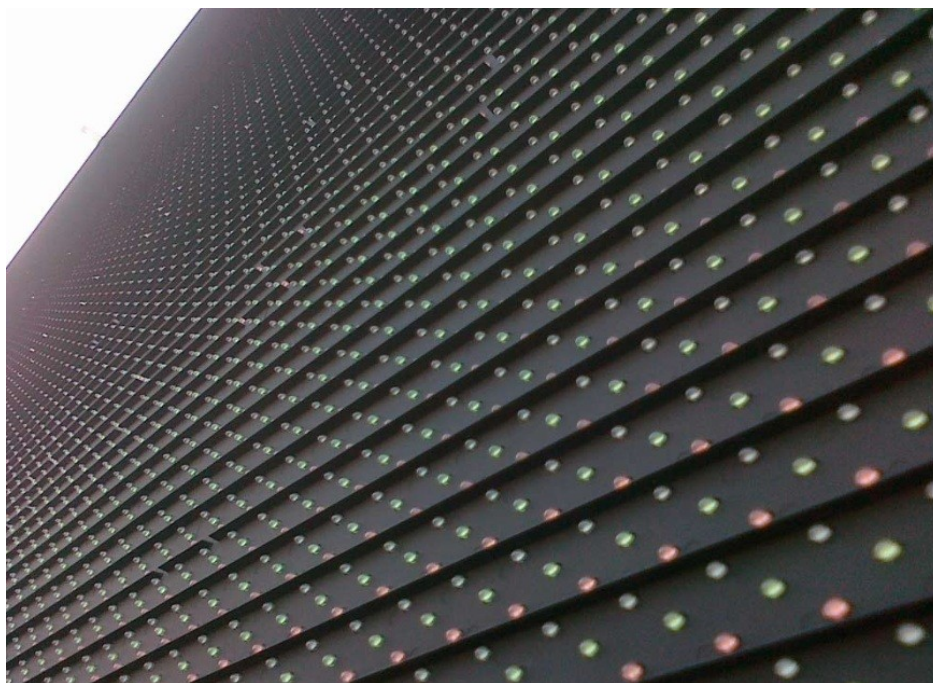
- a) Dle použití:
  - Interiérové – pro použití v budovách
  - Exteriérové – pro použití ve venkovních prostorech
- b) Dle barev:
  - Monochromatické (například červené, zelené, žluté ...)
  - Vícebarevné (například zelenožluté ...)
  - Plně barevné (plné barevné spektrum – miliony barev)
- c) Dle rozměru:
  - Malé, obvykle  $< 2 \text{ m}^2$
  - Střední, obvykle  $2 - 10 \text{ m}^2$
  - Velké, obvykle více než  $10 \text{ m}^2$
- d) Dle potřeby připojení na vyšší systém:
  - Autonomní – pracují bez řídicího PC
  - Neautonomní – pracují pouze s řídicím PC
- e) Dle použitého provedení LED diod:
  - Vývodové LED
  - SMT LED
- f) Dle barev v jedné LED diodě
  - Jednobarevné – 1 LED dioda, například pouze červená nebo zelená
  - Dvoubarevné – 2 LED diody integrováno v jednom pouzdře (R+G nebo R+Y ...)
  - Plnobarevné RGB - 3 LED diody integrovány v jednom pouzdře (R+G+B)
- g) Dle dynamiky obrazu
  - Pouhá výměna statických snímků – například jednou za několik sekund
  - Reálné video – například jeden snímek za 40 ms – obnovovací frekvence  $> 100\text{Hz}$
- h) Dle složení zobrazovacího bodu na LED modulu
  - RGB
  - RGRB
  - R
  - G
  - B
- i) Dle rozteče zobrazovacího bodu na LED modulu
  - 30 mm
  - 25 mm
  - 20 mm

- 16 mm
  - 12 mm
  - 10 mm
- j) Dle geometrického rozmístění diod v zobrazovacím bodu
- Trojúhelník
  - Čtverec
  - Mnohoúhelník
- k) Dle řídících řadičů
- Přepínání Zapnuto/Vypnuto, neautonomní tvorba PWM
  - S vlastním generátorem PWM

## 2.2 Základní struktura HW a SW LED displejů

Z pohledu základního členění maticových LED displejů je zřejmé, že celá problematika je poměrně komplexní. Nicméně ne vždy se plně využívají všechny technologické možnosti. Zpravidla se na technologickém trhu prosadí jedna či dvě základní koncepce, které jsou používány většinou dodavatelů těchto zařízení. Není tomu jinak ani v případě maticových LED displejů.

Nejznámější provedení velkoplošných maticových LED displejů, které známe z ulic našich měst, můžeme vidět na obrázcích (obr.1), (obr.2). Obvykle se jedná o sestavu několika desítek až stovek modulových desek s LED diodami.



*obr.1      Pole modulů velkoplošné LED obrazovky*



*obr.2 Velkoplošná LED obrazovka před montáží*

Vzhledem k poměrně dynamickému rozvoji tohoto segmentu trhu se stalo zvykem vlastní displejové bloky nakupovat u specializovaných výrobců a následně z těchto bloků vytvořit LED obrazovku, včetně řízení dle potřeb aplikace.

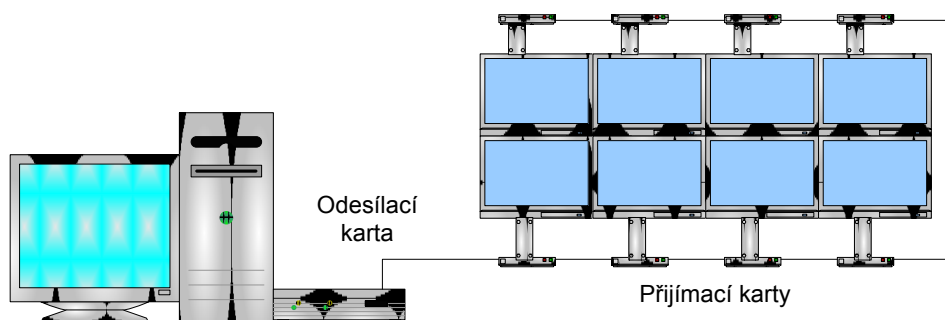
### **2.2.1 Dostupné moduly LED displejů na trhu**

Na trhu s LED moduly displejů je k dispozici mnoho druhů modulů v závislosti na jejich rozměru, velikosti matice, složení zobrazovacího bodu, popřípadě s různými řídicími obvody od různých výrobců. V našem případě byl vybrán LED modul s rozlišením 16x16 zobrazovacích bodů, rozteče bodů 16mm a řídicími obvody MBI5031 od společnosti Macroblock. Z těchto modulů je taktéž sestavena obrazovka na obrázku (obr.2).

### **2.2.2 Dostupné HW pro řízení LED displejů na trhu**

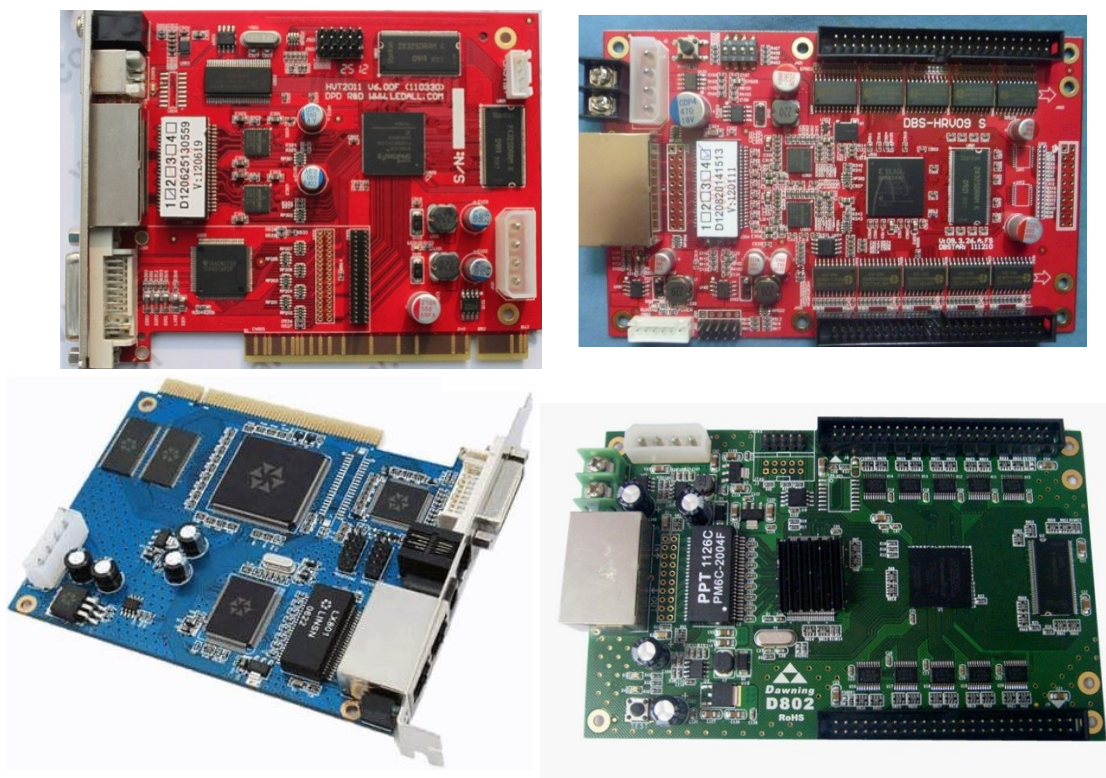
Běžné velkoplošné LED obrazovky jsou v podstatě sestavovány ze standardních komponent, jak již bylo zmíněno v případě LED modulů. Z hlediska řídicích systémů jsou na trhu dostupné řídicí karty od několika výrobců. Nejběžnější koncept HW LED obrazovek je možné vidět na obrázku (obr.3). Jedná se o HW, který se z pohledu PC chová jen jako další monitor. Základem celého systému je obvykle jedna odesílací karta, která se z pohledu PC chová jako monitor, zpracovává data z DVI portu a tato data dále distribuuje po vlastní síti na sadu přijímacích karet. Přijímacích karet bývá více v závislosti na velikosti displeje a způsobu řízení. Tyto přijímací karty data přijmou, zpracují a vytvoří řídicí signály pro drivery LED v modulech.





obr.3 *Blokové schéma nejběžnějšího konceptu HW LED obrazovek*

Na obrázku (obr.4) jsou ukázky odesílacích i přijímacích karet. V levé části jsou odesílací karty, v pravé části karty přijímací. Odesílací karty jsou uzpůsobeny pro zasunutí do PCI slotu PC. Jedná se především o způsob mechanického uchycení karty přímo v řídicím PC, žádná datová komunikace po PCI neprobíhá.



obr.4 *Foto DBSTAR, LINX – Odesílací a přijímací karty [4],[5]*

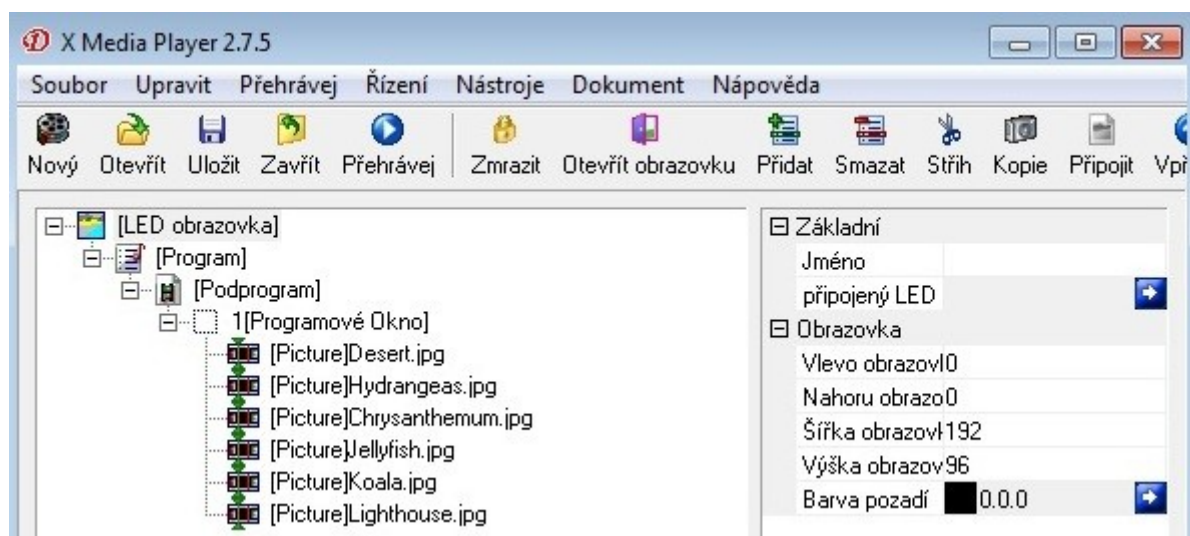
Na obrázku (obr.5) je foto velkoplošné LED obrazovky při její montáži. Je vidět, jak je obrazovka sestavena z mnoha LED modulů, několika napájecích zdrojů a přijímacích karet.



*obr.5 Velkoplošná LED obrazovka běžného konceptu – zadní pohled*

### **2.2.3 Dostupný SW pro řízení LED displejů na trhu**

V předchozím textu byl popsán běžně užívaný HW pro velkoplošné LED displeje. Jak již bylo uvedeno, díky běžně užívanému HW konceptu se LED obrazovka z pohledu PC chová jako standardní monitor. Z tohoto pohledu se SW aplikace zaměřují na vytváření obrazu na tomto dalším přídavném monitoru. Aplikací je k dispozici poměrně hodně. Od jednoduchých až po komplexní systémy, které bývají i propojeny na vyšší systémy. Ukázka jedné z nejvíce používaných aplikací je vidět na obrázku (obr.6).



obr.6 X Media Player – obslužný SW pro PC – řízení tradiční LED obrazovky [4]

Základem aplikace je editor sekvencí, v němž je možné pracovat se všemi běžnými druhy multimediálních formátů. Tímto způsobem je sestavena sekvence, kterou je možno pomocí aplikace přehrávat na LED obrazovce, jež se chová jako přídavný monitor. Nevýhodou tohoto konceptu je použití pro malé LED obrazovky, kde cena PC často převyšuje cenu celého zobrazovacího zařízení. Řešení tohoto problému u malých displejů je náplní této práce.



### **3 Návrh koncepce řízení autonomního LED displeje**

NEVEŘEJNÉ

## **4 Realizace HW řídicí části LED displeje**

NEVEŘEJNÉ

## **5 Realizace SW řídicí karty LED displeje**

NEVEŘEJNÉ

## **6 Testování vyvinuté řídicí jednotky v reálném prostředí**

NEVEŘEJNÉ

## 7 Zhodnocení dosažených výsledků

Základním úkolem této diplomové práce bylo navrhnout vestavěné zařízení pro řízení velkoplošného maticového autonomního LED displeje včetně návrhu koncepce HW i SW. Zařízení mělo být navrženo s ohledem na cenu, spolehlivost a funkčnost celého systému. Předpokládala se u něj možnost bezproblémového nepřetržitého provozu, schopnost uchovávat zobrazovaná data i po vypnutí a možnost komunikace prostřednictvím sítě.

Tak jako každý nový produkt, tak i tato řídicí karta má poměrně hodně otevřených možností na zlepšení. Karta by mohla být doplněna senzorem pro automatické řízení světelných poměrů obrazu dle venkovních světelných podmínek, také by bylo možné přímo na řídicí kartu integrovat podporu pro bezdrátové sítě, nebo doplnit kartu možností přehrávat text, či další informace bez potřeby tvorby video sekvence.

Jsem přesvědčen, že závěrečné testování prokázalo, že řídicí karta bezproblémově plní svoji funkci, čímž bylo ve všech ohledech dosaženo cílů práce. Práce byla velmi zajímavá především z důvodu vytvoření nového samostatného zařízení, které běžně není k dispozici na trhu.

## Použitá literatura

[1] VAN SICKLE, Ted. [i]Programming microcontrollers in C.[/i] 2nd ed. Eagle Rock, Calif.: LLH Technology Pub., c2001, 454 s. ISBN 1878707574.

[2] ŽALUD, Václav. [i]Moderní radioelektronika.[/i] 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2000, 653 s. ISBN 80-86056-47-3.

[3] [i]Microchip technology Inc.[/i] [online]. 2014 [cit. 2014-11-26]. Dostupné z: <http://www.microchip.com/>

[4] [i]Xilinx Inc.[/i] [online]. 2014 [cit. 2014-11-26]. Dostupné z: <http://www.xilinx.com/>

[5] [i]Premier Farnell plc. [/i] [online]. [cit. 2015-01-26]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/>

[6] [i]International Commission on Illumination [/i] [online]. [cit. 2015-01-26]. Dostupné z: [www.cie.co.at](http://www.cie.co.at)

[7] [i]Cree Inc.[/i] [online]. [cit. 2015-01-26]. Dostupné z: [www.cree.com](http://www.cree.com)

[8] [i]MACROBLOCK Inc.[/i] [online]. [cit. 2015-01-26]. Dostupné z: <http://www.mblock.com.tw/>

## Seznam příloh

Příloha.A: BOM – rozpis použitých součástek

Příloha.B: Deska plošných spojů (horní vrstva, dolní vrstva, osazovací plán)

Příloha.C: Schéma řídicí karty

Součástí DP je CD.

NEVEŘEJNÉ